

[2]Integrated waveform for continuous active sonar detection and communication

主要内容总结：

介绍了一种可用于连续主动声纳探测与通信的新型集成波形；介绍了它的混合调制与发射信号的模型。

后从两方面表现了这种波形的探测、通信性能。①分析了该波形的时域频域分辨率、抗混响能力。②又基于该波形比较分析了两个水声通信接收机在高斯噪声、多径条件下的性能。

数值模拟与水声通信实验均证明了该波形有较好的性能。

1.面临挑战

相比已经发展较成熟的雷达探测通信技术，水下探测通信集成仍在起步阶段。

并且由于水声信道具有复杂性（多径干扰、多普勒频移、信道时间可变性），目前的雷达通信技术难以在水下应用。

目标探测能力是水下电子对抗的重要因素，所以基于探测信号的集成电路设计是主要发展方向。

因此，要解决——如何在保证检测性能的同时实现通信信息的有效嵌入与解调。

2.现有研究

本文的工作基于对连续主动声纳（CAS）与广义正弦调频（GSFM）信号的性能研究。

- 研究表明连续主动声纳（CAS）是一种传输高占空比的双基地系统，具有更高的目标重访率和更好的跟踪识别能力。
- 广义正弦调频（GSFM）信号几乎彼此正交，能实现时延与多普勒频移的最小估计方差、实现紧密目标间隔的最佳分辨率。有较低的相互干扰、较高的距离与速度分辨率。

以上优点促使广义正弦调频（GSFM）信号应用于连续主动声纳（CAS）系统中。

3.解决方案

本文提出了一种基于GSFM信号的CAS探测通信集成波形（IW）。这种波形将数字信息

嵌入到GSFM波形中，称为**GSFM-com信号**。

为了在使主动声纳信号能够携带数据的同时保持目标检测性能，该工作中将二进制信息调制为GSFM波形，也就是数字c的组合。

结果表明（Q1）：这种BPSK调制GSFM信号后得到的GSFM com信号，自相关函数的最高旁瓣更小，信号具有较好的自相关特性。

4.信道模型——CAS-IDC的传输信号模型

该模型假设CAS-IDC系统不断地发送信号来搜索目标并与友好节点进行通信，并设置了特别的帧结构（包括彼此几乎正交并按顺序发送的GSFM-com信号的集合，与多普勒频移估计信号）。

由于接收机对水声信道的多径干扰敏感，接收端使用了多信道判决反馈均衡器接收机（DFER）来处理每个阵列元件接收到的GSFM-com信号。多通道DFER可以消除多径效应引起的码间干扰，并在较低的信噪比下保持稳定的解码性能。

这种接收机的原理：首先，对从每个信道接收的信号进行同步、多普勒估计和补偿，然后将GSFM信号的共轭与用于发送信号的相同参数相乘来对它们进行解调。每个信道的信号下采样后，我们可以使用多信道DFER对其进行解码。判决反馈均衡器可以通过自适应均衡器在一定程度上抑制接收信号中的码间干扰，这提高了接收机系统的性能。

5.接收端的两种接收机算法

两种接收机的数值模拟性能比较：

MFR：在没有多径干扰的情况下，MFR的解码性能随着信噪比的增加而提高，但它对多径干扰非常敏感，不适合多径干扰强的水声环境。

DFER：解码性能随着信噪比的增加而提高。较小带宽时，解码性能显著提高。且实验结果显示8通道DFER的性能远优于单通道DFER，当信噪比 $>-10\text{dB}$ 时，单通道DFER几乎可以实现零误码率通信。

6.仿真性能分析

GSFM-com的检测性能：对AF（Q2）和Q函数的分析表明，GSFM-com信号具有较高的距离和速度分辨率以及较强的抗混响能力（优于GSFM信号）。

GSFM-com的通信性能：GSFM-com信号的通信速率远高于基于雷达中的检测信号。但与传统的单载波信号不同，GSFM-com信号使用宽带信号作为载波来传输信息。由于多径效应，信号的波形和频谱失真。在接收端，我们无法完全去除GSFM com信号中的载波，这导致性能下降。载波信号带宽关系到通信稳定性，本文中研究了MFR和DFER两种接收机。

7.问题记录

Q1：论文中得到信号的表达式后是通过何种方式计算得出频谱图、自相关函数、正交性、自模糊函数特性图像的？（尝试了一下用MATLAB去画，好像没法控制以时延为自变量去表示，不知道这里的仿真模拟方式是什么）

Q2：AF如何能够反映性能指标。

A：对于脉冲主动声纳和CAS系统，匹配滤波器（MF）是在存在附加白高斯噪声的情况下进行信号检测的最佳接收器。当目标相对于发射器和接收器静止时，具有时间延迟 τ 的回波信号将与MF精确匹配。然而，如果目标相对于声纳系统移动，则会发生多普勒效应，从而使接收信号在时域中扩展或缩小。

AF是使用时间延迟 τ 和多普勒比例因子 η 计算的MF（匹配滤波器）的输出，这个指标能够反应信号对于距离与速度的分辨率，因而在一定程度上反应探测性能。